

## 도시철도차량 점착특성 향상기법에 관한 연구

金吉童, 韓咏材, 朴懷濬, 李仕永, 韓慶熙

### A Study on the improvement technique of adhesion characteristic for urban rolling stock

Gil-Dong Kim, Young-Jae Han, Hyun-Jun Park, Sa-Young Lee, Kyong-Hee Han

#### 요 약

전기철도차량의 성능특성을 향상시키기 위한 효과적인 방법중의 하나는 바퀴와 레일사이의 점착성능을 향상시키는 것이다. 점착특성을 연구하기 위해서 실제 차량을 등가 모델링한 점착시스템을 제작하였다. 이 시스템은 다양한 점착 파라미터를 변화시켜 바퀴와 레일사이의 점착력을 바꿀 수 있도록 제작되었다. 이 논문은 공전속도에 의한 토오크제어 방법으로써 공전속도의 진동을 억제하기 위한 연구이다.

#### ABSTRACT

It is one of the most effective methods for performance improvement of electric railway vehicle to make better the wheel-rail adhesion character. In order to research adhesion character, adhesion system is developed. The experiment system makes it possible to change various adhesion parameters. This paper studied to restrain vibration of slip speed using torque control by means of slip speed.

**Key Words** : Vector control, Rolling stock, Traction motor, Adhesion control

#### 1. 서 론

전동차의 재점착특성을 개선하는 것은 열차의 고속화와 큰 가속력을 갖게 하는데 대단히 중요한 것이다. 유도전동기를 견인전동기로 실용화하면서 유지보수 측면에서 큰 장점을 갖고 있고 슬립주파수가 감소하면 토크가 감소하는 특성은 높은 재점착특성을 가질 것이라고 기대하였다. 그러나 공전이 발생하면 토크가 저하하는 특성만으로는 높은 점착을 기대할 수 없었고 그 후의 연구로 개량이 진전되었다.

차륜과 레일사이의 점착시스템에 대하여는 이미 이문이 확립되어 있다. 또 재점착의 기회를 부여하는 제

어방법도 일반화가 되어있다. 재점착특성은 공전속도에 비례하는 토크의 저하를 1차 지연필터에 의하여 전동기의 토크를 감소시킴으로써 얻어지는 것으로 알려져 있다.<sup>[1][2]</sup> 재점착은 빠르고 정확한 공전의 검지와 공전에 따라 적절하게 토크를 제어하여 점착력을 향상시키는 기술로써 그 방법은,

- (1) 공전을 검지한 후 재점착기능을 분리하여 제어
- (2) creep영역에서 연속적인 속도검지와 이에 따르는 토크를 제어하는 방법이 알려져 있고 두 가지의 방법에 대하여 지속적인 연구가 진행되고 있으며 공전이 검지되면 전동기의 토크를 감소시키는 방법들이다.<sup>[3][4][5][6][7]</sup>

재점착 시험을 위해 견인전동기는 광범위한 속도제어 범위를 갖는 유도전동기의 구동에 벡터제어를 도입하고 등가의 실험장치에 의하여 점착제어에 관한 실험을 하였다.

인버터는 전력반도체소자가 낮은 변조율부터 180° 구간을 연속통전하는 범위까지 사용하는 PWM변조방법을 응용하였다. 저속영역에서 토크의 맥동과 전류파형에 영향을 주는 데드타임에 대한 보상은 낮은 스위칭 주파수를 사용하고 순시전류를 제어하는 루프를 두어 좋은 보상결과를 얻었다. 전동기의 구동실험에 있어서는 정지할 때까지 회생제동이 가능함을 확인하였으며 벡터제어가 갖는 효과적인 결과를 확인하였다.

본 연구에서 재점착제어는 일반적으로 사용되는 공전속도의 1차 지연에 의한 토크의 감소방법을 사용하고, 공전속도에 비례하여 토크를 낮추는 속도제어루프를 첨가하였다. 1차 지연만을 사용하여 토크를 감소시키는 방법과 비교하여 속도제어 루프가 추가되었을 때, 같은 조건에서 공전속도의 크기가 감소하고 가속도가 커짐이 관찰되었으며 점착특성을 향상시킬 수 있는 방법임을 실험으로 확인하였다.

## 2. 재점착성

공전이 발생한 경우 주전동기의 토크를 떨어뜨려 얻는 인장력의 속도에 대한 기울기와 점착특성의 관계는 다음과 같이 알려져 있다. 그림 1은 건조시 등 최대의 점착곡선 a와 습윤시 등 최소의 점착곡선 b 및 a와 b 사이에서 공전이 발생한 경우의 공전속도에 대한 점선력계수의 저하를 표시하는 곡선 c의 관계를 표시한다.

곡선 a 및 b의 사이에서 주행중인 기관차의 한 축의 점착계수가  $\mu_s$  로 되어 인장력  $F_0$ , 속도  $V_x$ 에서 공전이 발생한 경우의, 인장력의 속도에 대한 기울기  $\Delta F/\Delta V$ 의 차이에 의한 공전축의 재점착성을 그림 2에 나타내었다. 그림에서 n 및 m은 각각

- n :  $\Delta F/\Delta V$ 가 큰 경우
- m :  $\Delta F/\Delta V$ 가 작은 경우

를 의미하고, 이 조건에 대하여 공전축의 움직임은 다음과 같다.

- (1) 차량속도  $V_x$ , 점착계수  $\mu_s$ 의 상태에서 공전축의 점선력계수가 c에 따라 저하한다고 하면 공전

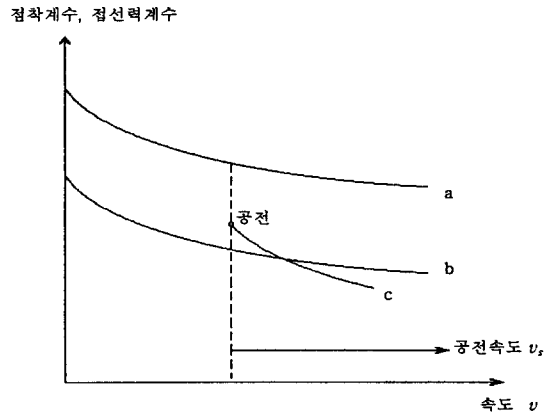


그림 1 공전이 발생했을 때 점착계수의 저하  
Fig. 1 Reduction of adhesion coefficient in case of slip increase

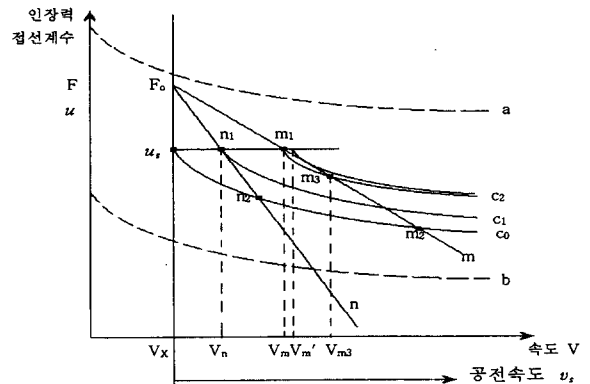


그림 2 인장력특성과 재점착  
Fig. 2 Tractive force character and re-adhesion

축은  $m_3$ 이며 공전속도  $V_s$ 는 인장력의 기울기가 작은 m의 특성일 때가 크게 된다.

- (2) 점착계수가  $\mu_s$  인 그대로 차량이 가속하였다고 하면 곡선  $c_0$ 는 그대로 가속축(V) 방향으로  $c_0 \rightarrow c_1 \rightarrow c_2$ 로 평행 이동한다. 그에 따른 점  $n_2, m_2$ 에 이르고 있던 공전속도( $V_s$ )는 각각의 인장력 특성과의 교점으로 이동하게 되고 이때  $\Delta F/\Delta V$ 의 기울기에 따른 특성에 의해 다음과 같은 차이가 발생하게 된다.

- (가) n( $\Delta F/\Delta V$  : 大)의 경우 : 차량속도가 속도  $V_n$ 에 달한 시점에서 n은 곡선  $c_1$ 보다 주전동기의 인장력

이 작고 교점이 없으며 공전축은 재점착한다.

(나)  $n(\Delta F/\Delta V : \text{小})$ 의 경우 : 차량속도가 속도  $V_m$ 에 달해도  $m$ 은 점  $m_1 \sim m_3$ 사이에서 주전동기의 인장력이 곡선  $c_2$ 보다 크고, 공전축은 인장력 특성과의 교점인  $m_3$ 점에서 공전을 계속하며 재점착 되지 않는다. 공전축이 재점착에 이르는 것은 차량속도가  $V_m'$ 로 된 후부터이다.

### 3. 점착 시스템

점착 시스템에 대하여는 문헌 [1]을 참조하였으며 그의 이론적 배경은 다음과 같다.

#### 3.1 점착계수

공전발생시의 점착계수에 대하여 다음과 같은 가정을 사용한다.

- 점착계수는 공전발생전이 가장 높다. ( $\mu_v$ )
- 점착계수는 공전의 발생과 동시에 어느 정도 저하한다. ( $\Delta\mu$ )
- 점착계수는 공전속도에 대하여 비례하여 감소한다. ( $-\rho \cdot v_s$ )

이들 결과를 근거로 식 (1)과 그림 3과 같은 간단한 근사 모델을 적용한다.

$$\mu_s = \mu_v - \Delta\mu - \rho \cdot v_s \quad (1)$$

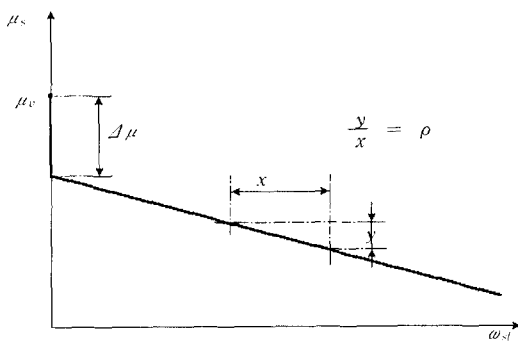


그림 3 점착계수  
Fig 3 Adhesion coefficient

또한 공전속도와 전동기의 토크에 대한 운동방정식은 식 (2)와 같이 표현된다.

$$\frac{dv_s}{dt} = \frac{1}{\tau_m} v_s + \frac{\Delta\mu}{\rho\tau_m} + \frac{r}{J}(T - T_0) \quad (2)$$

여기에서,

$v_s$  : 공전속도[m/s](차륜과 레일의 상대속도)

$J$  : 차륜축의 합성 관성모멘트[Nm · s<sup>2</sup>/rad]

$\tau_m$  : ( $J/r^2g\rho W$ ) 차륜의 기계적시정수

$r$  : 차륜반경[m]

$T$  : 차륜의 원주 토크[Nm]

$T_0$  : ( $rgu_vW$ ) 공전직전의 토크이다.

#### 3.2 재점착 특성

차륜의 재점착은 차륜의 운동방정식에서 공전속도  $v_s$ 를 0으로 함으로써 얻을 수 있다. 재점착을 위하여 공전속도를 검출하여 식 (2)에 대한 토크를 제어하는 경우 공전속도  $v_s$ 에 비례하는 제어량으로 차륜의 토크를 감소시키는 방법은 재점착을 얻을 수 없다고 알려져 있다. 재점착을 얻기 위하여 사용되고 있는 방법으로는 토크를 감소시키는 제어량을 전기적시정수  $\tau_e$ 에 상당하는 일차지연을 도입한다.

공전속도는 검출이 가능한 것으로 가정하고 주전동기의 토크를 공전속도  $v_s$ 에 대하여  $\tau_e$ 의 시간지연을 갖는 토크의 제어량을 제어하여 점착시스템이  $v_s$ 를 0으로 하는 응답을 얻게하는 점착 특성을 얻는다. 응답특성은  $v_s$ 에 대한 1차지연의 시정수  $\tau_e$ 와 궤환이득의 2가지에 의하여 변화하며 재점착의 존재여부를 판단하여 그 크기를 정한다.

### 4. 점착 제어

식 (2)의 공전속도에 대한 1차 지연을 갖는 토크의 제어는 지연의 정도, 궤환이득 및 점착시스템의 조건에 따라 여러 응답을 보일 수 있으나 재점착을 이루는 조건은 공전이 발생한 시점을 기준으로 공전속도가 0이 되는 조건의 유무로 재점착을 판단할 수 있다.

본 연구에서는 두가지의 토크 제어를 사용하였으며 우선 재점착을 얻기 위하여 식 (3)과 같은 1차 지연을 갖는 토크의 제어기능을 사용한다. 이것은 재점착을 위하여 알려진 일반적인 방법이며 비례상수  $K$ 와 시정수  $\tau_e$ 의 적절한 선정으로 재점착의 특성을 갖도록 한다.

$$T_1 + \tau_e \frac{dT_1}{dt} = -K v_s \quad (3)$$

$$T_2 = -K_s v_s \quad (4)$$

$$T - T_0 = T_1 + T_2 \quad (5)$$

다음의 제어기능은 식 (4)와 같이 공전속도를 제어하는 루프를 첨가하여 재점착 특성의 개선을 기대한다. 근본적으로 공전속도에 비례한 토크의 감소는 공전속도의 크기를 제어하게 된다.

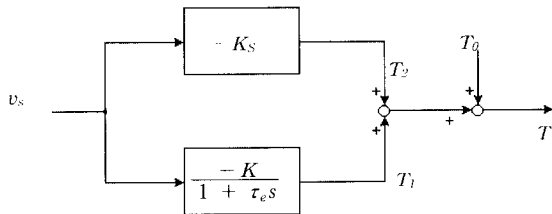


그림 4 토크의 제어  
Fig. 4 Torque control

본 연구에서 사용한 제어방법은 식 (3)과 식 (4)에 의한 토크를 제어하며 식 (5)와 같이 하여 식 (2)에 케환한다. 견인전동기의 토크를 공전속도의 제어와 1차 지연에 의하여 제안된 토크제어 방법은 그림 4에 나타내었다.

제안한 제어방법으로 점착제어를 할 경우 점착시스템은 식 (2), 식 (3), 식 (4) 및 식 (5)에 의하여 식 (6)과 같은 점착시스템의 방정식으로 변형된다.

$$\tau_m \tau_e \frac{d^2 v_s}{dt^2} + (\tau_m - \tau_e + \frac{K_s r}{J} \tau_m \tau_e) \frac{dv_s}{dt} + (\frac{(K + K_s) r}{J} \tau_m - 1) v_s = \frac{\Delta \mu}{\rho} \quad (6)$$

식 (6)의 응답에 대하여

$$\frac{(K + K_s) r}{J} \tau_m - 1 \leq 0 \quad (7)$$

의 경우에는 재점착의 기회가 부여되지 않는 조건이며 케환이득이 클수록 전동차의 재점착의 기회가 있다는 것을 뜻한다.  $K_s = 0$ 일 때 1차 지연만에 의한 재점착 방법이므로 속도케환루프는 재점착성을 갖는다고 볼 수 있다.

$$\tau_m - \tau_e + \frac{K_s r}{J} \tau_m \tau_e \quad (8)$$

이것은 (+), (-) 및 0 에서도 재점착하는 조건이 있지만 기계적 시정수와 전기적 시정수의 대소관계도 재점착 성능의 중요한 요소임을 나타내고 있다. 또 (-) 일때에 비해서 (+)의 경우가 재점착 영역이 작게 된다.

$K_s = 0$ 일 때 식 (8)에 대하여  $\tau_e$ 의 선택으로 재점착성능을 결정하므로 토크의 1차 지연의 선정이 매우 중요하다. 그러나 속도제어루프의 이득  $K_s$ 는 1차 지연과 함께 점착시스템의 응답에 관여하고 있다.

재점착시스템은 공전속도의 1차 지연과 지연시정수 이외에 속도케환이득을 함께 고려해서 토크를 제어하는 제어계를 설계하여 적용함으로써 개선된 재점착성을 기대할 수 있다.

### 5. 실험 장치

실제차량의 경우 5M5T이고 만차의 경우 540[ton]의 중량을 갖고 구동축의 차륜이 860[mm]라고 할 때 견인전동기 1대당의 관성은 전동기축으로 환산했을 때 대략 100[Nm·s<sup>2</sup>/rad]이 된다.<sup>18)</sup> 실험장치의 경우 감속기어비와 축소율을 고려하여 차량에 해당하는 등가 관성체는 70[Nm·s<sup>2</sup>/rad]의 관성을 갖도록 하였다. 차량의 관성과 차륜관성의 비율을 30 : 1로 정하였다.

실험장치는 견인전동기(200kW) 1대에 대하여 전체 시스템을 150분의 1로 축소된 등가의 장치로 설계되었다. 전동기는 산업용의 유도전동기를 사용하였다. 차륜과 레일은 차륜 자체의 관성을 가지고 있으며 레일과 미끄러지는 운동을 하는 시스템이다. 실제와 등가인 실험장치는 차량관성체와 전동기축과의 사이에 차륜관성이 있고 미끄러짐을 갖는 장치가 되어야 한다. 실험장치는 그림 5와 같은 구조로 하였고 전자클러치의 사용가능한 상대속도가 500[rpm] 이내이기 때문에 차륜관성과 클러치사이에 10 : 1의 감속비를 갖는 감속기어를 사용하였다.

그림 5의 장치에서 M은 구동전동기, W<sub>w</sub>은 등가 차륜 관성체, T는 토크 검출기, C는 클러치 및 W<sub>j</sub>는 등가 차량 관성체이다.

등가장치는 앞에서 제시된 바와 같은 축소된 크기로 하였으며 관성체와 전동기의 속도에 의하여 공전속도가 검지되고 이 속도에 의하여 점착제어를 할 때 전자클러치의 전달토크는 그림 3과 같이 되도록 클러치를 제어한다.

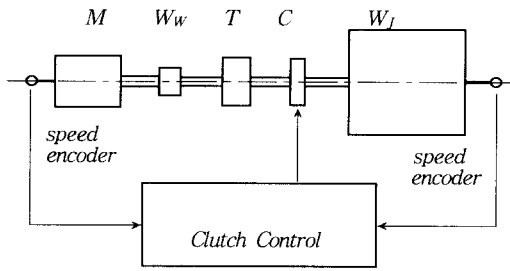


그림 5 등가장치  
Fig. 5 Equivalence equipment

제작된 실험장치에 대하여 전동기축으로 환산된 관성체와 슬립속도에 관한 운동방정식은 식 (1)의 모델을 적용하여 식 (9)와 같이 표현했을 때,

$$J \frac{d\omega_{sl}}{dt} = T - K_W(\mu_v - \Delta\mu - \rho\omega_{sl}) \quad (9)$$

식 (9)에서  $\omega_{sl}$  은 전동기축으로 환산된 클러치의 슬립속도이며 식 (9)의 우변 제 2항은 비례계수  $K_W$ 를 갖는 관성부하에 대한 클러치의 토크전달이 된다. 슬립이 발생하기 직전 관성체로 전달되는 토크와 등가장치에 대한 기계적시정수를 도입하여 식 (2)와 같은 형태인 식 (12)로 표현한다.

$$T_0 = K_W\mu_v \quad (10)$$

$$\tau_m = \frac{J}{K_W\rho} \quad (11)$$

$$\frac{d\omega_{sl}}{dt} = \frac{1}{\tau_m} \omega_{sl} + \frac{\Delta\mu}{\tau_m} + \frac{1}{J} (T - T_0) \quad (12)$$

실험장치의 경우 클러치에서 미끄러짐이 발생하는 토크는 실험적으로 8[Nm]로 측정되었다. 점착계수를 백분율로 표현했을 때 ( $\mu_v = 1$  [pu]), 실험장치에 대한 등가인 점착계수를 정하면 기계적 시정수는 식 (10)과 식 (11)에 의하여 계산되어진다.

실험에 있어서 그림 3의 특성을 갖는 점착계수의 효과를 얻을 수 있도록 클러치를 제어한다. 실험장치가 식 (12)와 같이 회전속도에 의하여 표현되었으므로 그림 3에서 슬립속도를 회전슬립[rad/sec]으로 하고 임의의 계수값을 선정한다.

실험에서는 실험장치의 축소율과 기계적시정수를 고려하여  $\rho$ 를 0.143,  $\Delta u$ 를 0.2로 했을 때, 제작된 실험장치의  $\tau_m$ 은 0.2[sec]로 계산되며 이를 토대로 하여 실험하였다.

## 6. 실험

본 연구에서는 전압을 기준으로 하여 전압강하율을 사용한 연산을 하였으며 자속과 유기기전력, 전류와 슬립 및 권선저항과 전류의 제환율들을 실험에 의하여 이들의 비율을 선정하였다. 제어 프로그램은 이들의 값을 변경하여 실험할 수 있도록 하였다. 정수선정을 위한 실험에 있어서 요구되는 전압의 크기가 되도록 자속과 유기기전력의 비율을 정하고 전류와 슬립 및 토크의 비례관계를 선정한다. 저속에서 저항강하율과 전류제환의 이득을 정하며 반복적인 실험을 통하여 전류의 크기와 파형 및 토크를 관찰하여 전동기의 정수에 관련한 비율을 정하였다.

### 6.1 구동실험

전자클러치는 최대의 토크를 전달하도록 하여 실험하고 그림 6은 역행과 타행을 반복할 때이며 그림 7은 제동할 때의 측정결과이다.

벡터제어의 적용은 토크의 효과적인 제어 이외에도 제동하는 경우 정지의 순간까지 회생제동을 이용할 수 있다는 특징이 있다. 슬립제어방식의 구동에 있어서 저속에서 회생제동이 곤란하여 8[Hz]부근에서 전기적 제동을 중지해야만 했지만 벡터제어는 그림 7에서 확인되는 것처럼 정지에 이르기까지 제동이 가능함을 보이고 있다.

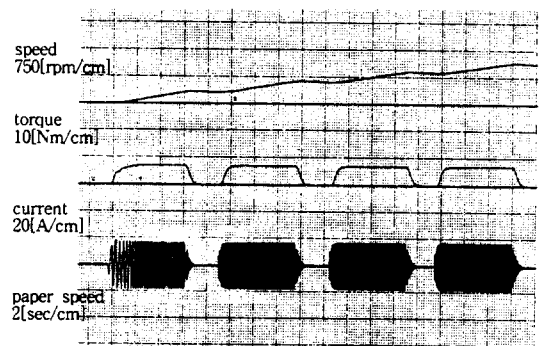


그림 6 역행과 타행운전  
Fig. 6 Powering and Coasting driving

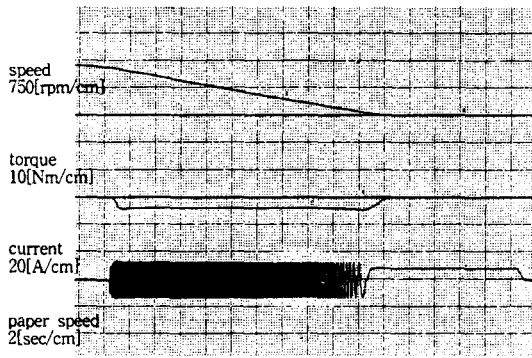


그림 7 제동  
Fig. 7 Braking

그림 6은 전동차의 운전에서 빈번하게 사용되고 있는 역행과 타행운전에 대한 실험결과이다. 그림 6은 제동시의 전동기의 전류와 제동토크를 측정하는 것이다. 실험에 있어서 전자클러치의 전달토크가 한계점부근에서 운전되기 때문에 구동토크를 낮추어 실험을 하였다.

6.2 점착제어

공전속도를 제한하여 얻어지는 효과를 관찰하기 위하여 우선 1차 지연필터에 의하여 실험하였으며 그림 8~10과 같은 응답이 측정되었다. 지연필터의 시정수를 임의로 하여  $\tau_e$  를 2[sec]로 하였으며 필터의 이득  $K$ 를 각각 0.1, 0.2, 0.3으로 조절하여 실험을 하였다.

필터의 이득이 커질수록 슬립속도의 크기가 작아짐을 관찰할 수 있으나 토크의 감소량이 커짐을 볼 수 있다.

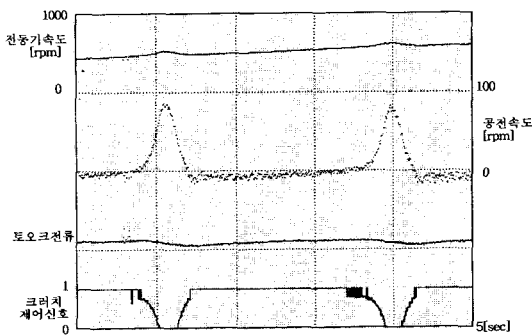


그림 8 K=0.1 일 때의 실험  
Fig. 8 Test in case of K=0.1

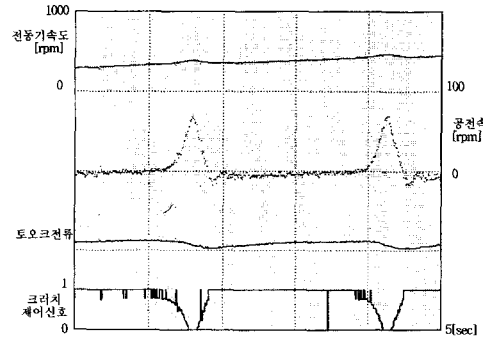


그림 9 K=0.2 일 때의 실험  
Fig. 9 Test in case of K=0.2

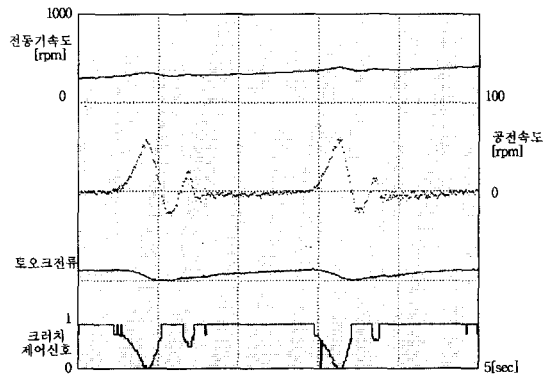


그림 10 K=0.3 일 때의 실험  
Fig. 10 Test in case of K=0.3

효과적인 재점착제어는 공전속도의 크기도 제어방법의 성능을 평가하는 한가지 요소이나, 토크의 감소량은 가속성능을 좌우하는 매우 중요한 요소로 관찰되었다. 그림 10의 경우에는  $K$ 를 0.3으로 했을 때이며 전동기의 토크가 거의 0인 점까지 낮아지고 있으며 토크의 진동이 크게 나타나고 있다. 본 연구에서는 공전속도의 크기를 낮추기 위하여 제안한 공전제한루프를 첨가한다.

그림 11, 그림 12 및 그림 13은 그림 10의 조건에서 공전속도를 제한한 경우이며 제한이득이 각각 0.01, 0.02, 0.03인 경우의 응답이다. 적은 량의 제한으로 공전속도의 크기가 감소하고 토크의 감소가 현저하게 개선되었음을 볼 수 있다. 실험결과로는 그림 12의 경우가 가장 좋은 응답을 보이고 있으며 가속력도 가장 큰 것으로 나타내고 있다.

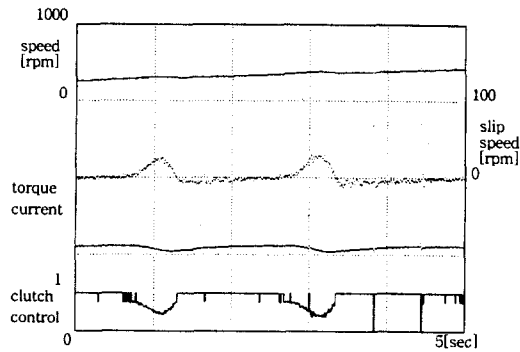


그림 11  $K_s=0.01$  일 때의 실험  
Fig. 11 Test in case of  $K=0.01$

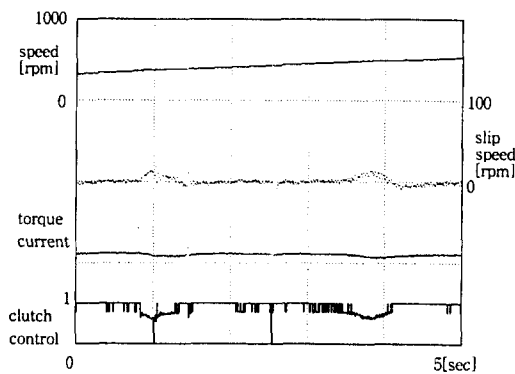


그림 12  $K_s=0.02$  일 때의 실험  
Fig. 12 Test in case of  $K=0.02$

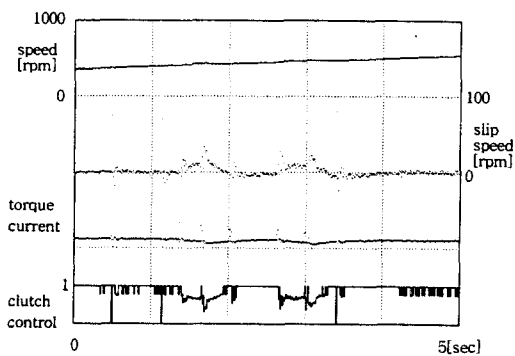


그림 13  $K_s=0.03$  일 때의 실험  
Fig. 13 Test in case of  $K=0.03$

공전속도를 제한한 점착제어는 개선된 특성을 보이고 있으나 제한이득은 실험을 통한 조절이 필요함을 고찰할 수 있었다. 또 전자클러치의 동특성은 언급되

지 않았으므로 실제차량의 조건과 얼마나 접근하는가 하는 것이 중요한 요소라 할 수 있다.

### 6. 결 론

본 논문에서는, 점착제어장치의 전자클러치를 이용하여 공전속도를 제어하게 되면 효과적인 점착제어를 할 수 있다는데 착안을 하여, 공전속도를 검지할수 있다는 가정을 한 후, 이 속도에 토크제어 부분을 추가하여 공전속도의 진동을 억제하고자 재점착제어 알고리즘을 구현하였다. 실제차량에 있어서 점착제어를 적용한 상태에서 공전현상은 그 진동이 예측한 것보다 매우 크게 나타나고 있다. 따라서 공전시의 큰 진동 발생시 공전속도에 대하여 빠른 토크의 감소가 가능하다면 이 진동을 감소시킬 수 있는 제어가 가능하다. 전동기의 구동방법으로 벡터제어를 응용하였으며 이 속도에 의한 토크의 제어부분을 추가하여 실험하였으며, 실험을 통해 공전속도의 진동이 크게 억제됨을 알 수 있었다.

벡터제어의 적용에 있어서 데드타임에 의한 영향을 보상하기 위해서 제어기의 불안정성을 수반하지 않도록 별도의 보상없이 전류제한루프에 의한 보상을 하였다. 전류의 진동을 억제하기 위한 전류제한루프는 저속영역에서의 데드타임에 의한 영향을 안정하게 보상하였으며, 제안된 제어방법은 견인시스템에 대한 벡터제어의 적용이 가능한 제어방법임을 실험을 통하여 확인하였다.

점착시스템은 전동기-등가차륜-클러치-관성체로 이루어지는 차륜과 레일의 등가장치를 제작하고 실험하였다. 공전을 검지하고 이 공전량을 1차 지연필터를 사용하여 토크를 감소시키는 일반적인 방법에 공전속도를 직접제어하는 제어루프를 병행하여 제어하였다. 토크를 공전속도에 비례하여 제어하는 요소는 공전속도의 크기를 감소시키고 점착력을 향상시켜 가속을 크게함이 실험을 통하여 확인되었다.

점착특성을 향상시키기 위하여 사용되는 재점착제어의 기술은 차량의 성능을 높이는 매우 중요한 기술이다. 이에 대하여 앞으로 실제차량의 견인시스템에 대한 직접적인 시도가 절실하며 더욱 실제적인 점착특성을 향상시키고 개선하는 방향으로 연구가 지속되어야 한다.

### 참 고 문 헌

[1] 交通・電氣鐵道技術委員會, “鐵道車輛における粘着制御技

- 術”,日本電氣學會技術報告, 第673号, pp. 3~51, 1998.
- [2] 渡邊朝紀 外 1人 “電氣車の再粘着特性の改善 (トルク制御に再粘着性付加)”, 日本電氣學會全國大會 pp. 8-187~8-188, 1991.
  - [3] 中澤英樹 外 1人, “新方式空轉再粘着制御”, 日本電氣學會全國大會, pp. 8-204~8-205, 1992.
  - [4] 渡邊朝紀 外 1人 “電氣車の再粘着特性に關する基礎的考察”, 日本電氣學會全國大會, pp. 8-206~8-207, 1992.
  - [5] 渡邊朝紀 外 3人 “滑走制御の一改善法”, 日本電氣學會全國大會, pp. 8-210~8-211, 1992.
  - [6] 四方進 外 2人 “ファジィ制御を用いた滑走再粘着制御”, 日本電氣學會全國大會, pp. 8-212~8-213, 1992.
  - [7] 김우석, 김용석, 강준구, 설승기, “최대점착력 추정을 이용한 철도차량의 재점착 제어 성능 개선”, 전기학회논문지 제49권 제1호, pp. 32~39, 2000.
  - [8] 한국철도기술연구원, “추진제어장치 연구개발보고서”, KRRI, 1997.



**이사영(李仕永)**

1953년 8월 13일생. 1980년 명지대 전기공학과 졸업. 1982년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1996년~현재 명지전문대학 전기과 교수.



**한경희(韓慶熙)**

1943년 4월 9일생. 1967년 명지대 전기공학과 졸업. 1979년 나고야대학원 전기공학과 졸업(석사). 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1983년~현재 명지대 전기공학과 교수.

저 자 소 개



**김길동(金吉童)**

1964년 9월 20일생. 1986년 명지대 전기공과 졸업. 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년~1994년 (주)우진산전 기술연구소 선임연구원. 1995년~현재 한국철도기술연구원 선임연구원.



**한영재(韓咏材)**

1969년 5월 9일생. 1994년 홍익대 전기제어공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기제어공학과 졸업(석사). 1996년~현재 한국철도기술연구원 주임연구원.



**박현준(朴煥濬)**

1957년 6월 24일생. 1981년 홍익대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1986년~1991년 삼성전기(주) 정밀기기연구실. 1992년~1996년 현대중공업(주) 중앙연구소 책임연구원. 1997년~현재 한국철도기술연구원 책임연구원.